

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-220507

(43) 公開日 平成11年(1999) 8月10日

(51) Int. Cl.⁶

H 0 4 L 27/38
27/22

識別記号

F I

H 0 4 L 27/00
27/22

G
Z

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平10-17622

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月30日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 橋田 辰昭

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 弁理士 土井 健二 (外1名)

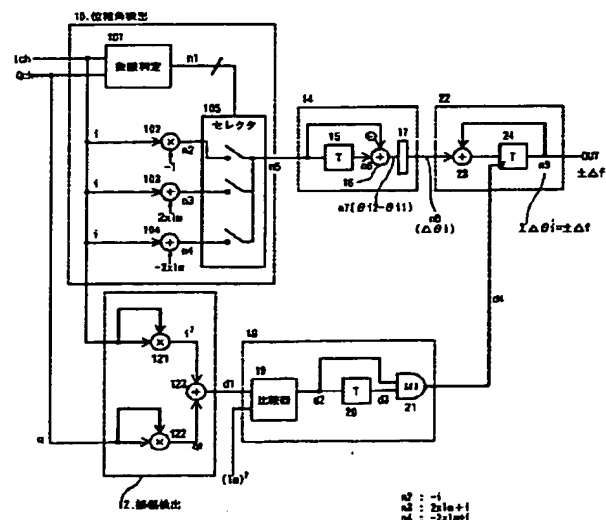
(54) 【発明の名称】 位相角検出器及びそれを利用した周波数弁別器

(57) 【要約】

【課題】 簡単な回路構成で、Iチャネル信号とQチャネル信号により特定される信号点の位相角を検出する回路を提供する。

【解決手段】 本発明の位相角検出回路は、復調回路で分離されたIチャネル信号またはQチャネル信号を、信号点の位相平面上での第1～第4象限に応じてそれぞれ設定した演算式で変換して、信号点の位相平面上での角度(位相角)を所定の一次元座標上に対応付けることを特徴とする。より具体的には、信号点の位相平面上の任意の象限の境界位置から360°回転した元の境界位置までの位相角を、所定の一次元座標上に割り当てる。そして、一次元座標上の座標値を、Iチャネル信号とQチャネル信号とから検出される信号点の第1～第4象限に応じて設定された演算式により求める。この演算式は、任意の式で実現できるが、できるだけ簡単な回路で実現できるように、その演算式もできるだけ簡単な式が選ばれる。

図1の実施の形態例の周波数弁別器の回路図



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 I チャネル信号と Q チャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、

前記 I チャネル信号及び／又は Q チャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、

前記象限判定信号に対応する前記 I チャネル信号又は Q チャネル信号を利用した演算により、前記位相平面上の位相角を所定の一次元座標上に変換する位相角演算部とを有することを特徴とする位相角検出回路。

【請求項 2】 I チャネル信号と Q チャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、

前記 I チャネル信号及び Q チャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、

前記 I（又は Q）チャネル信号を供給され、 $-i$ （又は $-q$ ）を生成する第 1 の演算器と、 $2Im+i$ （又は $2Im+q$ ）（ Im は信号点の振幅値）を生成する第 2 の演算器と、 $-2Im+i$ （又は $-2Im+q$ ）を生成する第 3 の演算器とを有し、前記象限判定信号に応答して、前記第 1～第 3 の演算器のいずれかの出力を選択的に出力する位相角演算部とを有することを特徴とする位相角検出回路。

【請求項 3】 I チャネル信号と Q チャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、

前記 I チャネル信号及び Q チャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、

前記 I（又は Q）チャネル信号を供給され、前記 I（又は Q）チャネル信号をそのまま出力する第 1 の演算器と、 $2Im-i$ （又は $2Im-q$ ）（ Im は信号点の振幅値）を生成する第 2 の演算器と、 $-2Im-i$ （又は $-2Im-q$ ）を生成する第 3 の演算器とを有し、前記象限判定信号に応答して、前記第 1～第 3 の演算器のいずれかの出力を選択的に出力する位相角演算部とを有することを特徴とする位相角検出回路。

【請求項 4】 I チャネル信号と Q チャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、

前記 Q（又は I）チャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、

前記 I（又は Q）チャネル信号を供給され、 $Im+i$ （又は $Im+q$ ）（ Im は信号点の振幅値）を生成する第 1 の演算器と、 $-(Im+i)$ （又は $-(Im+q)$ ）を生成する第 2 の演算器とを有し、前記象限判定信号に応答して、前記第 1 又は第 2 の演算器のいずれかの出力を選択的に

出力する位相角演算部とを有することを特徴とする位相角検出回路。

【請求項 5】 I チャネル信号と Q チャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、

前記 Q（又は I）チャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、

前記 I（又は Q）チャネル信号を供給され、 $Im-i$ （又は $Im-q$ ）（ Im は信号点の振幅値）を生成する第 1 の演算器と、 $-(Im-i)$ （又は $-(Im-q)$ ）を生成する第 2 の演算器とを有し、前記象限判定信号に応答して、前記第 1 又は第 2 の演算器のいずれかの出力を選択的に出力する位相角演算部とを有することを特徴とする位相角検出回路。

【請求項 6】 I チャネル信号と Q チャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、

前記 I チャネル信号及び Q チャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、

前記 I（又は Q）チャネル信号を供給され、 $-i$ （又は $-q$ ）を生成する第 1 の演算器と、 $2Im+i$ （又は $2Im+q$ ）（ Im は信号点の振幅値）を生成する第 2 の演算器と、 $4Im-i$ （又は $4Im-q$ ）を生成する第 3 の演算器とを有し、前記象限判定信号に応答して、前記第 1～第 3 の演算器のいずれかの出力を選択的に出力する位相角演算部とを有することを特徴とする位相角検出回路。

【請求項 7】 I チャネル信号と Q チャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、

前記 I チャネル信号及び Q チャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、

前記 I（又は Q）チャネル信号を供給され、前記 I（又は Q）チャネル信号をそのまま出力する第 1 の演算器と、 $2Im-i$ （又は $2Im-q$ ）（ Im は信号点の振幅値）を生成する第 2 の演算器と、 $4Im+i$ （又は $4Im+q$ ）を生成する第 3 の演算器とを有し、前記象限判定信号に応答して、前記第 1～第 3 の演算器のいずれかの出力を選択的に出力する位相角演算部とを有することを特徴とする位相角検出回路。

【請求項 8】 I チャネル信号と Q チャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、

前記 Q（又は I）チャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、

前記 I（又は Q）チャネル信号を供給され、 $Im+i$ （又は $Im+q$ ）（ Im は信号点の振幅値）を生成する第 1 の演

算器と、 $3\text{Im}-i$ （又は $3\text{Im}-q$ ）を生成する第2の演算器とを有し、前記象限判定信号に応答して、前記第1又は第2の演算器のいずれかの出力を選択的に出力する位相角演算部とを有することを特徴とする位相角検出回路。

【請求項9】 Iチャネル信号とQチャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、

前記Q（又はI）チャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、

前記I（又はQ）チャネル信号を供給され、 $\text{Im}-i$ （又は $\text{Im}-q$ ）（ Im は信号点の振幅値）を生成する第1の演算器と、 $3\text{Im}+i$ （又は $3\text{Im}+q$ ）を生成する第2の演算器とを有し、前記象限判定信号に応答して、前記第1又は第2の演算器のいずれかの出力を選択的に出力する位相角演算部とを有することを特徴とする位相角検出回路。

【請求項10】 直交振幅変調波との搬送波と復調用基準搬送波との周波数差を検出する周波数弁別器において、

Iチャネル信号及び／又はQチャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、前記象限判定信号に応答する前記Iチャネル信号又はQチャネル信号を利用した演算により、前記位相平面上の位相角を所定の一次元座標上に変換する位相角演算部とを有する位相角検出回路と、

前記位相角検出回路から検出された前記一次元座標上の位相角を供給され、所定のマスク円Sの外側の信号点が連続して復調された時に、連続する信号点間の位相角差を累積する積分回路とを有することを特徴とする周波数弁別器。

【請求項11】 直交振幅変調波との搬送波と復調用基準搬送波との周波数差を検出する周波数弁別器において、

Iチャネル信号及びQチャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、前記象限判定信号に対応する前記Iチャネル信号を利用した演算により、前記位相平面上の位相角を所定の第1の一次元座標上に変換する第1の位相角演算部と、前記象限判定信号に対応する前記Qチャネル信号を利用した演算により、前記位相平面上の位相角を所定の第2の一次元座標上に変換する第2の位相角演算部とを有する位相角検出回路と、

前記位相角検出回路から検出された前記第1及び第2の一次元座標上の位相角を供給され、所定のマスク円Sの外側の信号点が連続して復調された時に、連続する信号点間の位相角差を累積する積分回路とを有することを特徴とする周波数弁別器。

【請求項12】 直交振幅変調波との搬送波と復調用基準搬送波との周波数差を検出する周波数弁別器において、請求項2～9のいずれかに記載された位相角検出回路

と、

前記位相角検出回路から検出された前記一次元座標上の位相角を供給され、所定のマスク円Sの外側の信号点が連続して復調された時に、連続する信号点間の位相角差を累積する積分回路とを有することを特徴とする周波数弁別器。

【請求項13】 請求項1～9のいずれかに記載された位相角検出回路を構成する為の回路データが記録されたコンピュータ読みとり可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、多値直交振幅変調方式（多値QAM Quadrature amplitude modulation）において受信信号の搬送波周波数と復調用の基準搬送波周波数との差を検出する周波数弁別器、及びその周波数弁別器内で受信信号の位相平面上での位相角を検出する位相角検出器に関し、簡単な回路構成で受信信号の位相角の上下関係及びその程度を検出することができる位相角検出器及びそれを利用した周波数弁別器に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年において、ケーブルテレビをデジタル多チャンネル化することが検討され、64値QAMや256値QAM方式による変調方式が採用されつつある。多値直交振幅変調方式は、 2^n 種類の符号を 2^n 個の信号点に対応させ、送信したい符号を対応する信号点の実数値に対応するIチャネル信号（以下単にI信号と称する。）と虚数値に対応するQチャネル信号（以下単にQ信号と称する。）を利用して、それぞれの信号点の情報を送信する。I信号とQ信号とに 90° 位相がずれた搬送波信号がそれぞれ乗算され、それらを加算した信号が、送信用の搬送波周波数まで引き上げられて送信される。

【0003】 受信側では、シンボルレートまでダウンコンバートされた後、 90° 位相がずれた基準搬送波信号を乗算されてベースバンドのI信号とQ信号に復調される。受信側で生成される基準搬送波信号の発信器が製造ばらつきや経時変化等により変動するため、受信回路内にはキャリアリカバリ回路と呼ばれる搬送波再生回路が設けられ、送信側の搬送波信号と同じ周波数の基準搬送波信号が生成される。

【0004】 更に、搬送波再生回路は、受信信号の信号点の位相と本来の信号点の位相との差をなくす様に基準搬送波信号の周波数の引き込み制御を行うが、多値直交振幅変調方式では、信号空間における信号点の配置間隔が狭いので、搬送波再生回路のPLL回路のキャプチャーレンジと呼ばれる引き込み範囲が狭く、復調時には高雑度の基準周波数を再生することが必要である。そして、搬送波再生回路のキャプチャーレンジを拡大する方法として、受信信号の搬送波周波数と基準搬送波周波数との差を検出する周波数弁別器が利用され、それにより

検出された周波数差が、搬送波再生回路の制御基準として利用され、より広いレンジの周波数差の検出を可能にする。

【0005】図1は、64QAMにおける位相平面上での信号点の配置例を示す図である。図1に示される通り、Iチャネル側の実軸とQチャネル側の虚軸とで構成される位相平面上に、64個の信号点（図中黒点）が配置される。これらの64個の配置された信号点には、例えば6ビットの符号列が割り当てられる。割り当てられた信号点に対応するI軸上の座標とQ軸上の座標とが、それぞれI信号、Q信号として送信される。

【0006】そして、受信信号の搬送波周波数に対して受信側の基準搬送波の周波数がずれると、復調された信号点は、時計回りまたは反時計回りに回転する。例えば、受信信号の搬送波周波数 F_{in} が復調用の基準搬送波周波数 F_{lo} より小さい場合は、連続して復調された信号点は、例えば図中の信号点P1からP2へと、反時計方向に回転する。従って、連続する信号点間の位相角を検出することにより、両搬送波周波数の差 Δf を求めることができる。尚、両搬送波周波数 F_{in} と F_{lo} とが一致する場合は、信号配置点は静止する。

【0007】図2は、従来の周波数弁別器の例を示す図である。図2に示された周波数弁別器では、Iチャネル入力端子及びQチャネル入力端子には、それぞれ、受信信号にIチャネルとQチャネルとで90°位相が異なる復調用の基準搬送波信号が乗算されたI信号とQ信号の分離後の信号が入力される。位相角検出回路10は、I信号とQ信号から数値演算の $\tan^{-1}(Q/I)$ を行い、復調された信号点の位相 θ_{th1} を求める。そして、連続して復調される信号点の位相差 $d\theta$ が位相差検出回路14にて求められる。位相差検出回路14は、信号点の位相 θ_{th1} （図1中の θ ）を復調用の基準クロックで遅延させる遅延フリップフロップ15と、連続する信号点の位相 θ_{th1} と θ_{th2} との差を求める加算器16と、加算器16の出力 $\theta_{th2} - \theta_{th1}$ から、絶対位相差 $d\theta$ を求める変換器17とを有する。

【0008】一方、周波数弁別器は、I信号とQ信号とから復調した信号点の振幅 d_1 を求める振幅検出回路12と、図1に示されたマスク円Sの外側の信号点が連続して復調されたことを検出する信号点検出回路18とを更に有する。振幅検出回路12で、数値演算 $(I^2 + Q^2)^{1/2}$ が行われて信号点の振幅 d_1 が求められ、その振幅 d_1 がマスク円Sの半径 1_m とが比較器19により比較される。 $d_1 > 1_m$ の場合に、出力 d_2 がHレベルになり、遅延フリップフロップ20とANDゲート21により、連続してマスク円Sの外側の信号点が受信された時に、出力 d_4 がHレベルとなる。

【0009】この検出信号 d_4 に応じて、完全積分器22が位相差 $d\theta$ を累積する。即ち、完全積分器22は、加算器23と、検出信号 d_4 がHレベルの時に加算

器23の出力をラッチするフリップフロップ24とを有する。

【0010】以上の様に、従来の周波数弁別器は、マスク円Sの外側の信号点が連続して検出された時のそれらの連続する信号点間の位相差を求め、それを累積する。受信信号の搬送波周波数と復調用の基準搬送波周波数との周波数差に応じて、信号点が反時計方向或いは時計方向に移動するので、その位相差 $d\theta$ の累積値から、周波数差をずれ方向も含めて、出力端子OUTに出力することができる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図2に示された周波数弁別器を一般的な論理回路で構成する場合、信号点の位相平面上での位相角を求める位相角検出回路10は、数値演算 $\tan^{-1}(Q/I)$ を行う演算回路が不可欠である。かかる複雑な演算 $\tan^{-1}(Q/I)$ を行う論理回路は、回路規模が大きくなり複雑化には適さない回路構成となる。複雑な演算回路に替えて計算結果をルックアップテーブルで構成したとしても、そのテーブルに要するチップコストは大きく、根本的な解決にならない。

【0012】そこで、本発明の目的は、簡単な回路構成で、信号点の位相平面上での位相角を求めることができる位相角検出回路を提供することにある。

【0013】更に、本発明の別の目的は、簡単な回路構成で、信号点の位相平面上での位相角を求めることができる位相角検出回路を利用して、回路規模の小さい周波数弁別器を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明の位相角検出回路は、復調回路で分離されたIチャネル信号またはQチャネル信号を、信号点の位相平面上での第1～第4象限に応じてそれぞれ設定した演算式で変換して、信号点の位相平面上での角度（位相角）を所定の一次元座標上に対応付けることを特徴とする。

【0015】より具体的には、信号点の位相平面上の任意の象限の境界位置から360°回転した元の境界位置までの位相角を、所定の一次元座標上に割り当てる。そして、一次元座標上の座標値を、Iチャネル信号とQチャネル信号とから検出される信号点の第1～第4象限に応じて設定された演算式により求める。この演算式は、任意の式で実現できるが、できるだけ簡単な回路で実現できるように、その演算式もできるだけ簡単な式が選ばれる。

【0016】信号点が第1象限か、第2象限か、第3象限か、或いは第4象限かの検出は、例えば、Iチャネル信号とQチャネル信号の最上位ビットの組み合わせからきわめて容易に行うことができる。その検出結果に応じて、最大で4種類の演算回路の出力を選択するだけで、

一次元座標上に割り当てられた位相角値が生成される。

【0017】後述する実施の形態例で明らかになるが、演算回路を簡単にすることにより、一次元座標上に置換された位相角値は必ずしもニアリティを有しないが、その位相角検出回路を利用した周波数弁別器は、少なくとも周波数差の程度と方向（プラス方向か或いはマイナス方向か）とを検出することができる。この検出された周波数差の程度と方向を基準にして、搬送波再生回路は受信搬送波信号と復調用の基準搬送波信号との位相差を広いレンジにおいて検出することができ、その位相差を利用して搬送波再生回路を構成するPLL回路のローカル搬送波信号の引き込みが可能になる。

【0018】上記の目的を達成するために、本発明は、Iチャネル信号とQチャネル信号により特定される信号点の位相平面上の位相角を検出する位相角検出回路において、前記Iチャネル信号及び／又はQチャネル信号にตอบสนองして前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、前記象限判定信号に対応する前記Iチャネル信号又はQチャネル信号を利用した演算により、前記位相平面上の位相角を所定の一次元座標上に変換する位相角演算部とを有することを特徴とする。

【0019】更に、上記の目的を達成するために、本発明は、直交振幅変調波との搬送波と復調用基準搬送波との周波数差を検出する周波数弁別器において、Iチャネル信号及び／又はQチャネル信号から前記信号点の位相平面上での象限を判定し象限判定信号を生成する象限判定部と、前記象限判定信号に対応する前記Iチャネル信号又はQチャネル信号を利用した演算により、前記位相平面上の位相角を所定の一次元座標上に変換する位相角演算部とを有する位相角検出回路と、前記位相角検出回路から検出された前記一次元座標上の位相角を供給され、所定のマスク円Sの外側の信号点が連続して復調された時に、連続する信号点間の位相角差を累積する積分回路とを有することを特徴とする。

【0020】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の例について図面を参照して説明する。しかしながら、かかる実施の形態例が本発明の技術的範囲を限定するものではない。

【0021】[多値直交振幅変調(QAM)方式] 実施の形態例の位相角検出回路を説明する前に、多値直交振幅変調方式について説明する。

【0022】図3は、多値QAM方式の変調器の概略図である。送信情報を有する信号Dinが、マッピング回路30により、I信号とQ信号とにマッピングされる。例えば、信号Dinが6個のビット列の信号であるとする、 $2^6 (= 64)$ 種類のビット列信号が、図1に示された様な信号点にマッピングされる。具体的には、マッピング回路30はシリアル・パラレル変換回路であり、

6個のビット列の最初の3個のビット列をI信号の3ビット信号に、後半の3個のビット列をQ信号の3ビット信号に割り当てる。その結果、64種類のビット列信号が64個の信号点に符号化される。

【0023】I信号、Q信号はそれぞれロー・パス・フィルタであるルートナイキスト・フィルタ32、34を通過し、第2の基準周波数F_{lo2}を有しそれぞれ90°位相がずれた基準搬送波信号を乗算回路34、35で乗算され、加算器37で加算される。加算されたデジタル信号S10は、D/A変換回路38でクロックCLKに同期したアナログ信号S12に変換される。そして、最後に第1の基準周波数F_{lo1}を有する基準搬送波信号を乗算回路39で乗算され、搬送波周波数F_{out}を有する高周波の送信信号RFが送信される。したがって、搬送波周波数は、 $F_{out} = F_{lo1} + F_{lo2}$ となる。

【0024】図4は、多値QAM方式の復調器の概略図である。図示しないチューナで選択された高周波の受信信号RFは、バンドパス・フィルタ40を通過後、乗算器42にて、復調用の第1の基準周波数F_{lo1}を有する第1の基準搬送波信号が乗算され、シンボルレートまでダウンコンバートされる。かかるダウンコンバートされた信号は、ローパス・フィルタ44を通過して、基準クロックCLKに同期してA/D変換回路46でサンプリングされ、デジタル信号S20に変換される。

【0025】この信号S20には、I信号とQ信号とが混在しており、その信号S20は、乗算器48、50にて、第2の基準搬送波周波数F_{lo2}を有し、互いに90°位相がずれた第2の基準搬送波信号が乗算されて、ベースバンドのI信号とQ信号に分離される。52は、90°の位相シフト回路である。

【0026】それぞれの分離されたI信号とQ信号は、ローパス・フィルタであるルートナイキスト・フィルタ54、56を通過する。そして、伝送媒体が有する周波数特性により歪んだI信号とQ信号の周波数分布が、波形等化器58でイコライズされる。クロック再生回路60は、送信信号のクロックに同期した基準クロックCLKを再生する。

【0027】受信側の復調器のダウンコンバータである乗算器42に入力される第1の基準搬送波信号F_{lo1}は、ローカル発信器43により生成される。このローカル発信器43は、フリーラン状態にあり、その製造ばらつきや経時変化などにより発振する周波数F_{lo1}は変動する。

【0028】従って、ダウンコンバートされた信号S20の搬送波周波数も変動するので、それに追従する周波数を持つ第2の基準搬送波信号F_{lo2}を生成する必要がある。そのために、復調器では搬送波再生回路が必要になる。搬送波再生回路(キャリアリカバリ回路)は、I信号とQ信号とから連続する信号点の位相差 $\Delta\theta$ を検出する位相差検出回路62と、ループフィルタ64と、位

相差 $\Delta\theta$ に応じた周波数の基準搬送波を生成する電圧制御発振器66と、乗算器48, 50とからなるPLL回路を構成する。更に、PLL回路の引き込み範囲(キャプチャレンジ)を拡大するために、受信信号RFの搬送波周波数 F_{in} と、復調用の基準搬送波周波数 $F_{lo1} + F_{lo2}$ との周波数差 Δf を検出する周波数弁別器68が設けられる。周波数弁別器68が検出した周波数差 Δf を基準にすることで、位相差検出回路62は、より広い範囲(波長以上の範囲)の位相差 $\Delta\theta$ を検出することができる。この周波数弁別器68が、本発明に関する部分である。

【0029】[位相角検出器の原理とその回路] 本実施の形態例における周波数弁別器に設けられる位相角検出器は、従来例で示した様に複雑な演算 $\tan^{-1}(Q/I)$ を行わずに、I信号とQ信号とから信号点の象限を検出し、象限に対応して設定された簡単な演算式に従って、 360° の範囲の位相角を、所定の一次元座標に変換する。

【0030】図5は、本実施の形態例の位相角検出の原理を説明する図である。図5の例では、位相角が、検出した象限毎に設定された簡単なI信号の値を利用した演算式に従って、一次元座標 θ_i に変換される。図5には、信号点S1~S5の位相角 $-180^\circ \sim +180^\circ$ を、 $-2lm \sim +2lm$ の一次元座標に変換する例が示される。信号点S1~S5は、全て同じ信号点であり、上記した周波数差に応じて回転した信号点である。従って、その信号点S1~S5は円SP上に位置することになる。円SPの半径を lm とする。

【0031】図5の例では、点Bを境にして、反時計回りが $0^\circ \sim +180^\circ$ の位相角、時計回りが $0^\circ \sim -180^\circ$ の位相角とする。そこで、信号点が第2象限に位置しているとなると、位相角が $0^\circ \sim +90^\circ$ (点Bから点C)に増加するに従い、信号点のI値は0から $-lm$ に減少する。そこで、第2象限に対応する演算式を、 $-i$ とすることにより、位相角 $0^\circ \sim 90^\circ$ を、一次元座標値 $\theta_i (= -i)$ の $0 \sim +lm$ に対応付けることができる。図5では、信号点S3が第2象限に位置し、そのI値 i_3 は、 $\theta_i = -i_3$ として一次元座標 θ_i 上のS3に対応付けられる。

【0032】更に、信号点が第3象限に位置する場合は、位相角が $+90^\circ \sim +180^\circ$ (点Cから点D)に増加するに従い、信号点のI値は $-lm$ から0に増加する。そこで、第3象限に対応する演算式を、 $2lm+i$ とすることにより、位相角 $+90^\circ \sim +180^\circ$ を、一次元座標値 $\theta_i (= 2lm+i)$ の $+lm \sim +2lm$ に対応付けることができる。図5では、信号点S4が第3象限に位置し、そのI値 $i_4 (< 0)$ は、 $\theta_i = 2lm+i_4$ として一次元座標 θ_i 上のS4に対応付けられる。

【0033】同様に、信号点が第1象限に位置する場合は、位相角が $0^\circ \sim -90^\circ$ (点Dから点A)に減少す

るに従い、信号点のI値は0から $+lm$ に増加する。そこで、第1象限に対応する演算式を、 $-i$ とすることにより、位相角 $0^\circ \sim -90^\circ$ を、一次元座標値 $\theta_i (= -i)$ の $0 \sim -lm$ に対応付けることができる。図5では、信号点S1、S2が第1象限に位置し、そのI値 i_1 、 i_2 は、 $\theta_i = -i_1$ 、 $-i_2$ として一次元座標 θ_i 上のS1、S2に対応付けられる。

【0034】更に、信号点が第4象限に位置する場合は、位相角が $-90^\circ \sim -180^\circ$ (点Aから点D)に減少するに従い、信号点のI値は $+lm$ から0に減少する。そこで、第4象限に対応する演算式を、 $-2lm+i$ とすることにより、位相角 $-90^\circ \sim -180^\circ$ を、一次元座標値 $\theta_i (= -2lm+i)$ の $-lm \sim -2lm$ に対応付けることができる。図5では、信号点S5が第4象限に位置し、そのI値 i_5 は、 $\theta_i = -2lm+i_5$ として一次元座標 θ_i 上のS5に対応付けられる。

【0035】以上の様に、図5の例では、点Bを中心とする $-180^\circ \sim +180^\circ$ の位相角が、 $-2lm \sim +2lm$ の一次元座標 θ_i に変換される。その変換式は、以下の通り、第1~第4象限に応じて設定された簡単な演算式である。

【0036】第1象限 $-i$
第2象限 $-i$
第3象限 $2lm+i$
第4象限 $-2lm+i$

信号点がどこの象限に位置するかは、信号点のI値とQ値の符号から簡単に求められる。I値、Q値のデジタル値が共に2の補数で示される場合は、単純にそれらの最上位ビットの組み合わせから信号点が位置する象限を検出することができる。即ち、2の補数表示された時の最上位ビットの組み合わせは以下の通りである。

【0037】第1象限 $I, Q=0, 0$
第2象限 $I, Q=1, 0$
第3象限 $I, Q=1, 1$
第4象限 $I, Q=0, 1$

従って、信号点の位置する象限の検出は単純にI信号とQ信号の最上位ビットをデコードすることで求められる。

【0038】図6は、図5の原理を利用した第1の実施の形態例の周波数弁別器の回路図である。図6には、図2に示した回路と同じ或いは対応する部分には、同じ引用番号を付した。本実施の形態例の位相角検出器10は、I信号とQ信号とが供給される。図4に示される通り、I信号とQ信号は所定ビットのデジタル信号であり、信号点が64個の場合は、それぞれ3ビットのデジタル信号である。位相角検出器10は、象限判定回路101、乗算器102、加算器103、104及びセレクタ105を有する。

【0039】象限判定回路101は、例えばI信号とQ信号の最上位ビットの組み合わせから、上記した通り信

号点が第1～第4象限のいずれに位置するかを判定する。その判定結果に応じて、第1、第2象限の時の選択信号、第3象限の時の選択信号、第4象限の時の選択信号の3つの信号を出力端子n1に生成する。この選択信号n1は、セクタ105に供給される。

【0040】乗算器102は、I信号の値iに、レファレンス入力1を乗じる回路であり、ノードn2には $\theta i = -i$ が生成される。加算器103は、I信号の値iにレファレンス入力2lmを加算する回路であり、ノードn3には $\theta i = 2lm + i$ が生成される。同様に、加算器104は、I信号の値iにレファレンス入力-2lmを加算する回路であり、ノードn4には $\theta i = -2lm + i$ が生成される。

【0041】そして、ノードn2、n3、n4が、象限判定信号n1に従って、セクタ105で選択され、ノードn5に接続される。上記した通り、信号点が第1及び第2象限に位置する場合は、ノードn2がセクタ1

$$\theta i2 - \theta i1 > 2lm \text{ の場合} : \Delta \theta i = n7 (\theta i2 - \theta i1) - 4lm$$

$$\theta i2 - \theta i1 < -2lm \text{ の場合} : \Delta \theta i = n7 (\theta i2 - \theta i1) + 4lm$$

$$-2lm \leq \theta i2 - \theta i1 \leq 2lm \text{ の場合} : \Delta \theta i = n7 (\theta i2 - \theta i1)$$

従って、位相角を一次元座標 θi に変換したことによる -180° と $+180^\circ$ との境界をまたいで信号点の位相角が変化した場合も、その位相差 $\Delta \theta i$ を検出することができる。

【0044】一方、周波数弁別器は、I信号とQ信号とから復調した信号点の振幅を求める振幅検出回路12と、図1に示されたマスク円Sの外側の信号点が連続して復調されたことを検出する信号点検出回路18とを更に有する。本実施の形態例では、振幅検出回路12は、回路規模を縮小するために位相平面の原点から信号点までの距離そのものを求めるのではなく、距離の二乗($i^2 + q^2$)を計算する。即ち、振幅検出回路12は、距離の二乗($i^2 + q^2$)を求める為に、乗算器121と122及び加算器123を有し、信号点の振幅の二乗d1を出力する。

【0045】比較器19は、この振幅d1をマスク円Sの半径lmの二乗(lm^2)と比較し、 $d1 > (lm)^2$ の場合に、出力d2がHレベルになり、遅延フリップフロップ20とANDゲート21により、連続してマスク円Sの外側の信号点が受信された時に、出力d4がHレベルとなる。

【0046】この検出信号d4にตอบสนองして、完全積分器22が位相差 $\Delta \theta i$ を累積する。即ち、完全積分器22は、加算器23と、検出信号d4がHレベルの時に加算器23の出力をラッチするフリップフロップ24とを有する。位相差の累積値はノードn9に出力され、周波数差 $\pm \Delta f$ として、出力OUTとして、図4に示されたループフィルタ64に供給される。位相差を累積して周波数差を検出する部分は、図2の従来例と同様である。

【0047】以上の様に、図6に示された周波数弁別器

05で選択される。また、信号点が第3象限に位置する場合は、ノードn3がセクタ105で選択される。そして、信号点が第4象限に位置する場合は、ノードn4がセクタ105で選択される。その結果、ノードn5には、位相角を一次元座標の値 θi に変換された値が生成される。即ち、位相角検出回路10は、位相角を一次元座標にマッピングした値 θi の形で生成する。

【0042】そして、位相差検出回路14は、連続して復調される信号点の位相差 $\Delta \theta i$ を求める。位相差検出回路14は、復調用の基準クロックCLKで遅延させる遅延フリップフロップ15と、連続する信号点の位相 $\theta i1$ と $\theta i2$ との差を求める加算器16と、加算器16の出力 $\theta i2 - \theta i1$ から、絶対位相差 $\Delta \theta i$ を求める変換器17とを有する。即ち、変換器17は次の様に変換する。

【0043】

内の位相角検出回路10は、簡単なデコーダで構成される象限判定回路101と、簡単な乗算器及び加算器と、スイッチからなるセクタ105で実現される。従って、簡単な論理回路で構成することができ、集積化に適しているし、その演算速度も速い。

【0048】図5において、点Bを中心として反時計回りをプラス、時計回りをマイナスとして、 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ の位相角を、 $0 \sim \pm 2lm$ の一次元座標に変換した。しかし、本発明はかかる対応に限定されず、任意の対応付けを行うことができる。例えば、点Bを始点にして反時計回りで、 $0^\circ \sim 360^\circ$ の位相角を $0 \sim 4lm$ の一次元座標に変換してもよい。図5中の括弧内の数値は、かかる対応を示す。従って、点B-C-D-Aの方向の位相角が、 $0 \sim 4lm$ に対応付けられる。その時の変換式は、図5の右上に示した通り、 $-i$ 、 $2lm + i$ 、 $4lm - i$ の3種類の演算回路が必要になり、それらの演算結果が検出された象限に応じて選択される。

【0049】図7は、Iチャネル信号を利用した場合の位相角と一次元座標 θi との別の対応例を示す図である。この例では、点Dを中心にして、反時計方向にプラス、時計方向にマイナスとして、 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ の位相角を、 $0 \sim \pm 2lm$ の一次元座標 θi に対応付けている。この場合も、演算式は、図中の右上に示される通り、 $-i$ 、 $2lm - i$ 、 $-2lm - i$ の3種類となる。

【0050】更に、図7には、点Dを始点として反時計方向に $0^\circ \sim 360^\circ$ の位相角を $0 \sim 4lm$ の一次元座標 θi に対応付ける例が示される。その演算式は、 $2lm - i$ 、 $4lm + i$ 、 i の3種類である。

【0051】図8は、更に、Iチャネル信号を利用した場合の位相角と一次元座標 θi との別の対応例を示す図

である。この例では、点Cを中心にして、反時計方向にプラス、時計方向にマイナスとして、 $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ の位相角を、 $0 \sim \pm 2lm$ の一次元座標 θ_i に対応付けている。この場合は、演算式は、図中の右上に示される通り、 $lm+i$ 、 $-(lm+i)$ の2種類となる。しかも、第1と第2象限とは同じ演算式、第3と第4象限とは同じ演算式になる。従って、この場合は、象限判定回路では、Q信号の最上位ビットのみに従って判定することができる。

【0052】更に、図8には、点Cを始点として反時計方向に $0^\circ \sim 360^\circ$ の位相角を $0 \sim 4lm$ の一次元座標 θ_i に対応付ける例が示される。その演算式は、 $3lm-i$ 、 $lm+i$ の2種類である。従って、上記と同様に、象限判定回路では、Q信号の最上位ビットのみに従って、演算式を選択する為の象限判定信号を生成することができる。

【0053】同様に、点Aを中心とする $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ の位相角を、 $0 \sim \pm 2lm$ の一次元座標 θ_i に対応付けることもでき、点Aを始点にした $0^\circ \sim 360^\circ$ の位相角を $0 \sim 4lm$ の一次元座標 θ_i に対応付けることもできる。

【0054】図9は、1チャンネル信号を利用した場合の、上記の8種類の変換方式についての変換用の演算式を示す図表である。図9に示される通り、点Aを中心とする $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ の位相角を、 $0 \sim \pm 2lm$ の一次元座標 θ_i に対応付ける場合は、変換用の演算式は、 $lm-i$ と $-(lm-i)$ の二つである。また、点Aを始点にした $0^\circ \sim 360^\circ$ の位相角を $0 \sim 4lm$ の一次元座標 θ_i に対応付ける場合は、変換用の演算式は、 $lm-i$ と $3lm+i$ である。

【0055】図10は、他の位相角検出回路の回路例を示す図である。図9の演算式の図表と対比すると理解される通り、図10(1)は、点Dを中心とする $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ の位相角を、 $0 \sim \pm 2lm$ の一次元座標 θ_i に対応付ける場合の例である。この例では、ノードn2に i 、ノードn3に $2lm-i$ 、ノードn4に $-2lm-i$ がそれぞれ生成される。

【0056】図10(2)は、点Cを中心とする $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ の位相角を、 $0 \sim \pm 2lm$ の一次元座標 θ_i に対応付ける場合の例である。この例では、ノードn21に $lm+i$ が生成され、ノードn22に $-(lm+i)$ が生成される。また、象限判定回路101には、Q信号のみが供給される。従って、選択信号n1は、2本または1ビットである。例えば、Q信号の最上位ビットの信号がそのまま選択信号n1として利用されることもできる。その場合は、象限判定回路101は、Q信号の最上位ビット信号を引き出す回路となる。

【0057】図10(3)は、点Aを中心とする $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ の位相角を、 $0 \sim \pm 2lm$ の一次元座標 θ_i に対応付ける場合の例である。この例では、ノードn23

に $-(lm-i)$ が生成され、ノードn24に $lm-i$ が生成される。また、象限判定回路101には、Q信号のみが供給される。従って、選択信号n1は、2本または1ビットである。例えば、Q信号の最上位ビットの信号がそのまま選択信号n1として利用されることもできる。

【0058】図9に示した、点D、A、B、Cを始点とする $0^\circ \sim 360^\circ$ の位相角を $0 \sim 4lm$ の一次元座標 θ_i に対応付ける場合も、同様にして位相角検出回路の演算回路を構成することが容易に理解される。これらの演算回路のうち、最も簡単な回路で構成される例が採用されるのが好ましい。

【0059】図11は、Q信号を利用した場合の位相角検査の原理例を示す図である。図11では、Q信号の値 q を利用して同様に位相角を一次元座標 θ_q に変換する。

【0060】図11に示されるQ信号を利用した例では、位相角は、点Aを 0° として、反時計方向に点Bを経由して点Cまでの $0^\circ \sim +180^\circ$ と、時計方向に点Dを経由して点Cまでの $0^\circ \sim -180^\circ$ とに割り当てられる。それに対して、点A-B-Cの $0^\circ \sim +180^\circ$ の位相角は、 $0 \sim lm \sim 2lm$ の一次元座標 θ_q に変換される。同様に、点A-D-Cの $0^\circ \sim -180^\circ$ は、 $0 \sim -lm \sim -2lm$ の一次元座標 θ_q に変換される。それぞれの象限の変換の演算式は、次の通りである。

【0061】第1象限 q
 第2象限 $2lm-q$
 第3象限 $-2lm-q$
 第4象限 q

図12は、図11の原理を利用した第2の実施の形態例の周波数弁別器の回路図である。図6と同じ部分には同じ引用番号を付した。図12に示された周波数弁別器は、位相角検出回路10の構成が、図6の回路と異なる。それ以外は、同じ構成である。上記の演算式から明らかな通り、図12の位相角検出回路10は、図10(1)に示されたものと同等の構成である。

【0062】即ち、図12の周波数弁別器の位相角検出回路10は、上記した演算式を実現するために、演算回路は、Q信号の値 q をそのままノードn2に伝える演算回路106と、 $\theta_q = 2lm-q$ を演算する回路107と、 $\theta_q = -2lm-q$ を演算する回路108とを有する。回路107、108は、それぞれ図示される通り、乗算器と加算器とから構成される。

【0063】そして、象限判定回路101にて判定される生成される選択信号n1により、第1象限と第4象限の時は、ノードn2がノードn5に接続され、第2象限の時は、ノードn3がノードn5に接続され、第3象限の時は、ノードn4がノードn5に接続される。

【0064】連続する信号点の位相角差を検出する位相角差検出回路14、振幅検出回路12、連続してマスク円Sの外側の信号点が受信されたことを検出する信号点検

出回路 18 及び積分回路 22 は、図 6 の場合と同じである。

【0065】図 11 には、点 B を始点とする $0^\circ \sim 360^\circ$ の位相角を、 $0 \sim 4lm$ の一次元座標 θq に変換する場合の例も示される。この場合は、 q 、 $2lm - q$ 、 $4lm + q$ の 3 つの演算式となる。

【0066】図 13 は、他の Q チャネル信号を利用した位相角検出の原理例を示す図である。この図には、点 B を中心とする $0^\circ \sim \pm 180^\circ$ の位相角を、 $0 \sim 2lm$ の一次座標 θq に変換する例が示される。この場合は、変換用の演算式は、図中右上に示される通り、 $lm - q$ 、 $-(lm - q)$ の 2 種類である。この場合は、第 2、3 象限で同じ演算式になり、第 1、第 4 象限で同じ演算式になる。

【0067】更に、図 13 には、点 B を始点とする $0^\circ \sim 360^\circ$ の位相角を、 $0 \sim 4lm$ の一次元座標 θq に変換する場合の例も示される。この場合の変換用の演算式は、 $lm - q$ 、 $3lm + q$ の 2 種類となる。また、第 2、3 象限で同じ演算式になり、第 1、第 4 象限で同じ演算式になる。

【0068】図 14 は、Q チャネル信号を利用した場合の位相角と一次元座標 θq の変換用の演算式を示す図表である。図 9 に対応する図表であるので、詳細な説明は行わない。そして、図 14 の図表に示された 8 種類の方式を利用して、I チャネル信号を利用した位相角検出回路と同様の構成で、Q チャネル信号を利用した位相角検出回路が構成できる。

【0069】図 15 は、第 3 の実施の形態例の周波数弁別器の回路図である。この周波数弁別器は、図 6 に示された I 信号の値 i を利用した位相角検出回路と、図 12 に示された Q 信号の値 q を利用した位相角検出回路とを併用する。

【0070】図 5 及び図 11 の位相角検出回路の原理から理解される通り、位相角を一次元座標に変換する場合、図 5 に示された I 信号を利用する場合は、位相角が正弦波曲線に類似の変換関数により一次元座標 θi に変換される。また、図 11 に示された Q 信号を利用する場合は、角度が 90° シフトした正弦波曲線に類似の変換関数により一次元座標 θq に変換される。従って、信号点の位置によって、それぞれ一次元座標に変換された後の位相差 $\Delta \theta i$ 、 $\Delta \theta q$ の精度が落ちることになる。そこで、図 15 の例では、両方の位相角検出回路を設け、それぞれの位相角検出回路から検出した連続する信号点の位相差 $\Delta \theta i$ と $\Delta \theta q$ とを加算し、積分する。それにより、より精度の高い周波数差 Δf を検出することができる。

【0071】図 15 に示される通り、I 信号を利用した位相角検出回路 10 i と、Q 信号を利用した位相角検出回路 10 q とが設けられる。それぞれの構成は、図 6、図 12 に示した構成と同じである。但し、象限判定回路

101 は共用される。それぞれのセクタ 105 i、105 q で選択された演算値がそれぞれのノード n5、n9 に出力される。そして、連続する信号点の位相差が位相差検出回路 14 i、14 q でそれぞれ求められ、ノード n10 に $\Delta \theta i$ が、ノード n11 に $\Delta \theta q$ がそれぞれ検出される。そして、加算器 25 によりそれらの位相差が加算され、信号点検出回路 18 により連続してマスク円より外側の信号点が受信されたことが検出された時に、H レベルの信号 d4 に応答して、積分回路 22 内のフリップフロップ 24 が、位相差 $\Delta \theta i + \Delta \theta q$ の累積値をラッチする。従って、ノード n13 には、より精度の高い位相差の累積値 $\Sigma (\Delta \theta i + \Delta \theta q)$ が生成される。

【0072】図 15 の第 3 の実施の形態例において、図 9 と図 14 の図表に示された方式の任意の組み合わせを利用することができる。I チャネル信号から一次元座標 θi に変換した角度値と、Q チャネル信号から一次元座標 θq に変換した角度値とを組み合わせることで、より精度の高い位相角の差を検出することができる。

【0073】以上説明した通り、本実施の形態例の周波数弁別器では、簡単な演算回路を組み合わせた位相角検出回路により、信号点の位相平面上での位相角を、信号の存在する位相平面上の象限情報と信号点の座標 (I 座標或いは Q 座標、或いはその両方) から求めることができる。従って、専用の論理回路で構成してもその回路構成は簡単である。

【0074】図 16 は、本実施の形態例の周波数弁別器が、システム LSI 内に内蔵されることを説明する図である。本実施の形態例の周波数弁別器 68 が、多値 QAM 方式の復調回路を構成するシステム LSI 500 内に内蔵される場合がある。その場合は、周波数弁別器 68 の回路を実現するためのデータが、ハードディスクや磁気テープなどの記録媒体 600 内に格納され、かかる回路データを利用して、システム LSI 内に周波数弁別器 68 が埋め込まれる。記録媒体 600 内に格納される周波数弁別器 68 の回路データは、例えば、Verilog HDL や VHDL などの言語により記述される。

【0075】

【発明の効果】以上説明した通り、本発明によれば、I チャネル信号や Q チャネル信号の位相平面上での象限情報と、それらの信号を利用した簡単な演算回路で、信号点の位相平面上での位相角を求めることができる。従って、位相角検出回路を簡単な回路構成にすることができる。

【0076】更に、上記の位相角検出回路により検出された位相角を利用して、受信信号の搬送波周波数と復調側の基準搬送波の周波数の差を検出する周波数弁別器を構成することで、同様に、周波数弁別器を簡単な回路構成で実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 64QAMにおける位相平面上での信号点の配置例を示す図である。

【図 2】 従来の周波数弁別器の例を示す図である。

【図 3】 多値QAM方式の変調器の概略図である。

【図 4】 多値QAM方式の復調器の概略図である。

【図 5】 本実施の形態例の位相角検出の原理例を説明する図である。

【図 6】 図 5 の原理を利用した第 1 の実施の形態例の周波数弁別器の回路図である。

【図 7】 Iチャネル信号を利用した場合の位相角と一次元座標 θ_i との別の対応例を示す図である。

【図 8】 Iチャネル信号を利用した場合の位相角と一次元座標 θ_i との別の対応例を示す図である。

【図 9】 Iチャネル信号を利用した場合の位相角と一次元座標 θ_i の変換用の演算式を示す図表である。

【図 10】 他の位相角検出回路の回路例を示す図である。

【図 11】 本実施の形態例の位相角検査の原理を示す図

である。

【図 12】 図 11 の原理を利用した第 2 の実施の形態例の周波数弁別器の回路図である。

【図 13】 他の Qチャネル信号を利用した位相角検出の原理例を示す図である。

【図 14】 Qチャネル信号を利用した場合の位相角と一次元座標 θ_q の変換用の演算式を示す図表である。

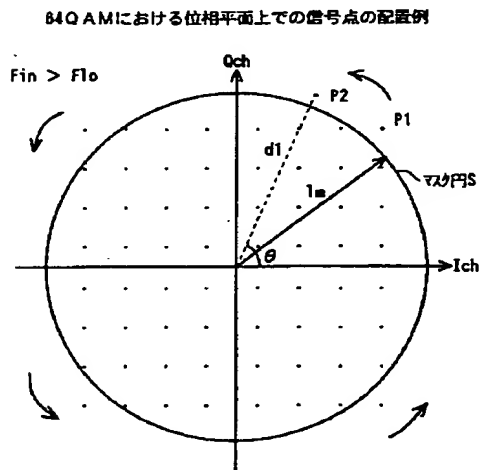
【図 15】 第 3 の実施の形態例の周波数弁別器の回路図である。

【図 16】 本実施の形態例の周波数弁別器が、システム LSI 内に内蔵されることを説明する図である。

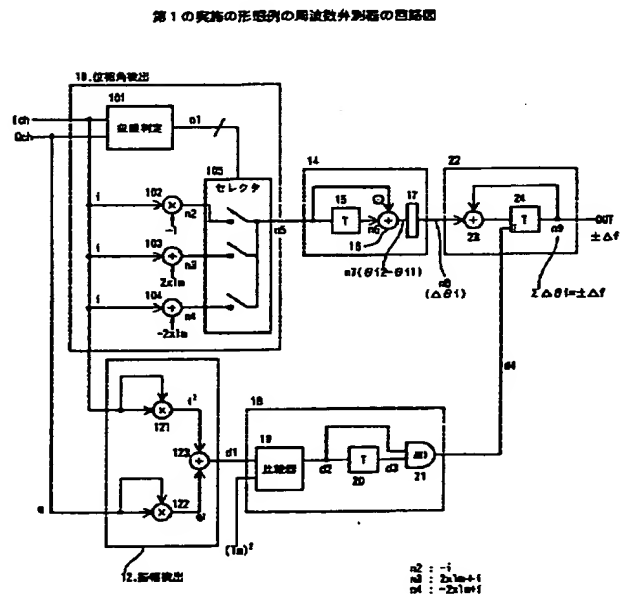
【符号の説明】

- 10 位相角検出回路
- 12 振幅検出回路
- 18 信号点検出回路
- 22 積分回路
- 101 象限判定回路
- 102 ~ 106 演算回路

【図 1】

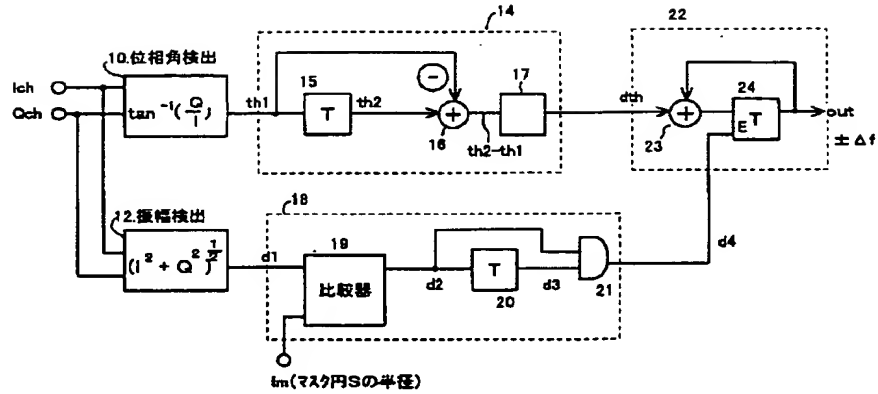


【図 6】



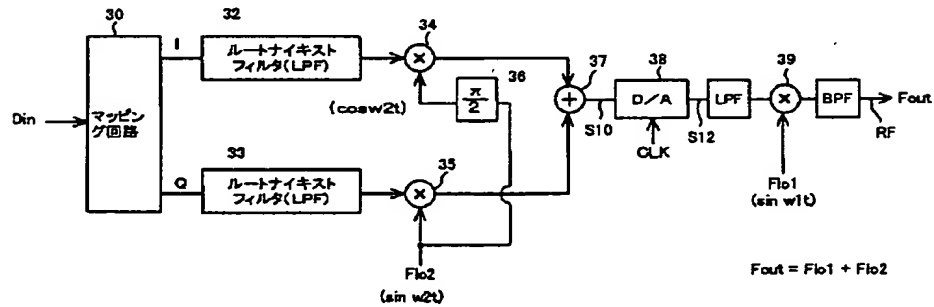
【図 2】

従来の周波数弁別器の例



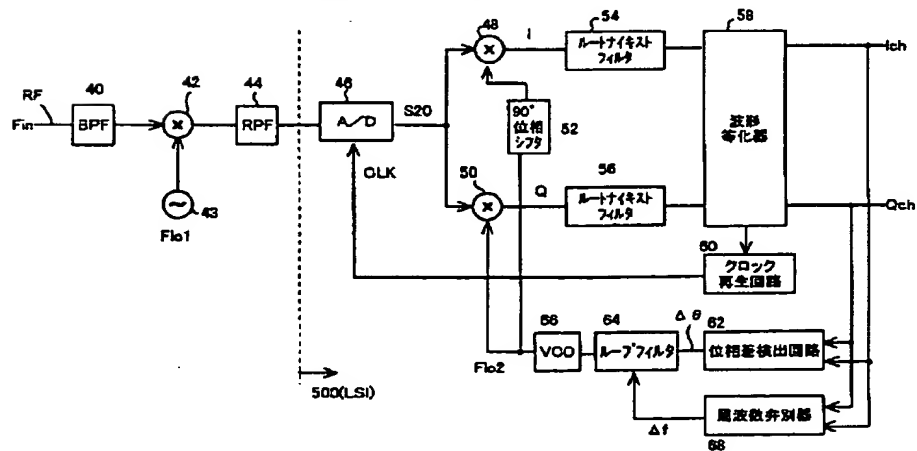
【図 3】

多値QAM方式の変調器の概略図



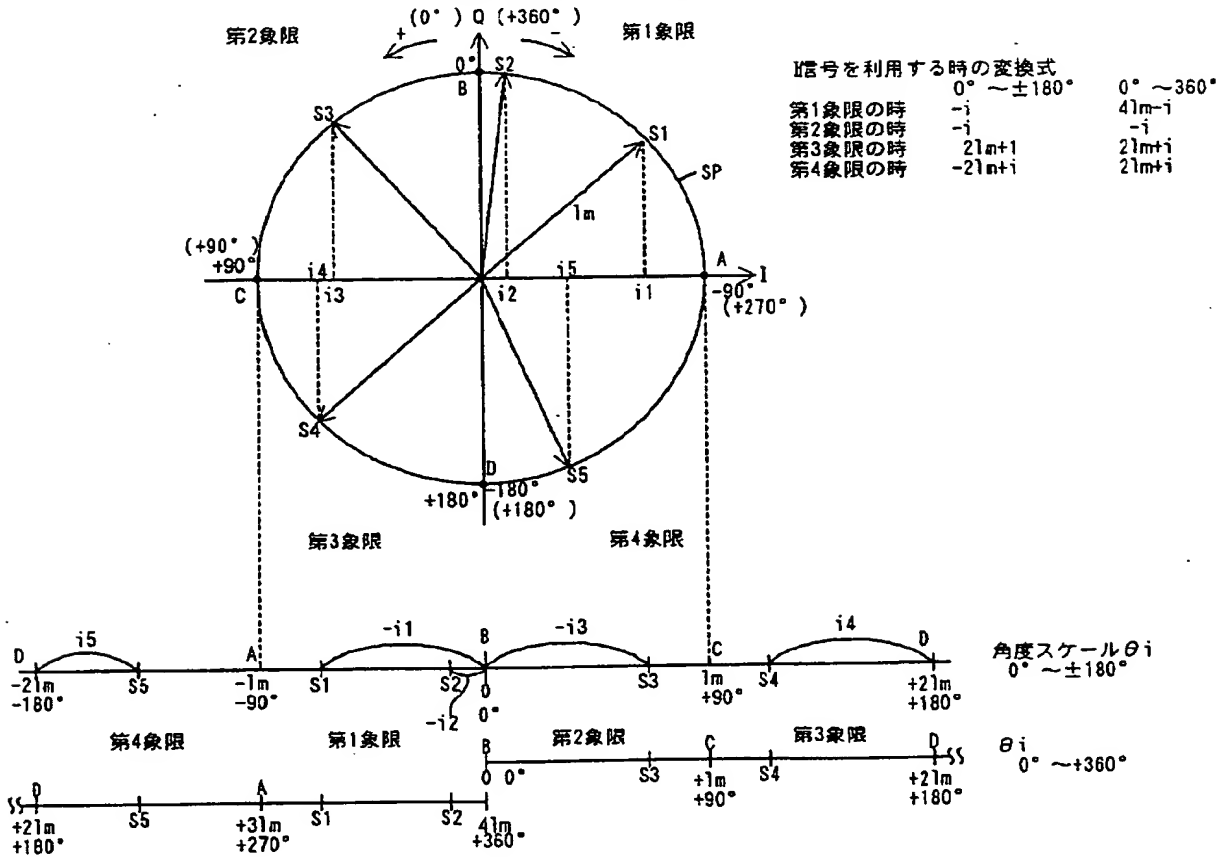
【図 4】

多値QAM方式の復調器の概略図



【図5】

I チャンネル信号を利用した場合の角度検出の原理を示す図



【図9】

Iチャンネル信号利用の場合の変換式

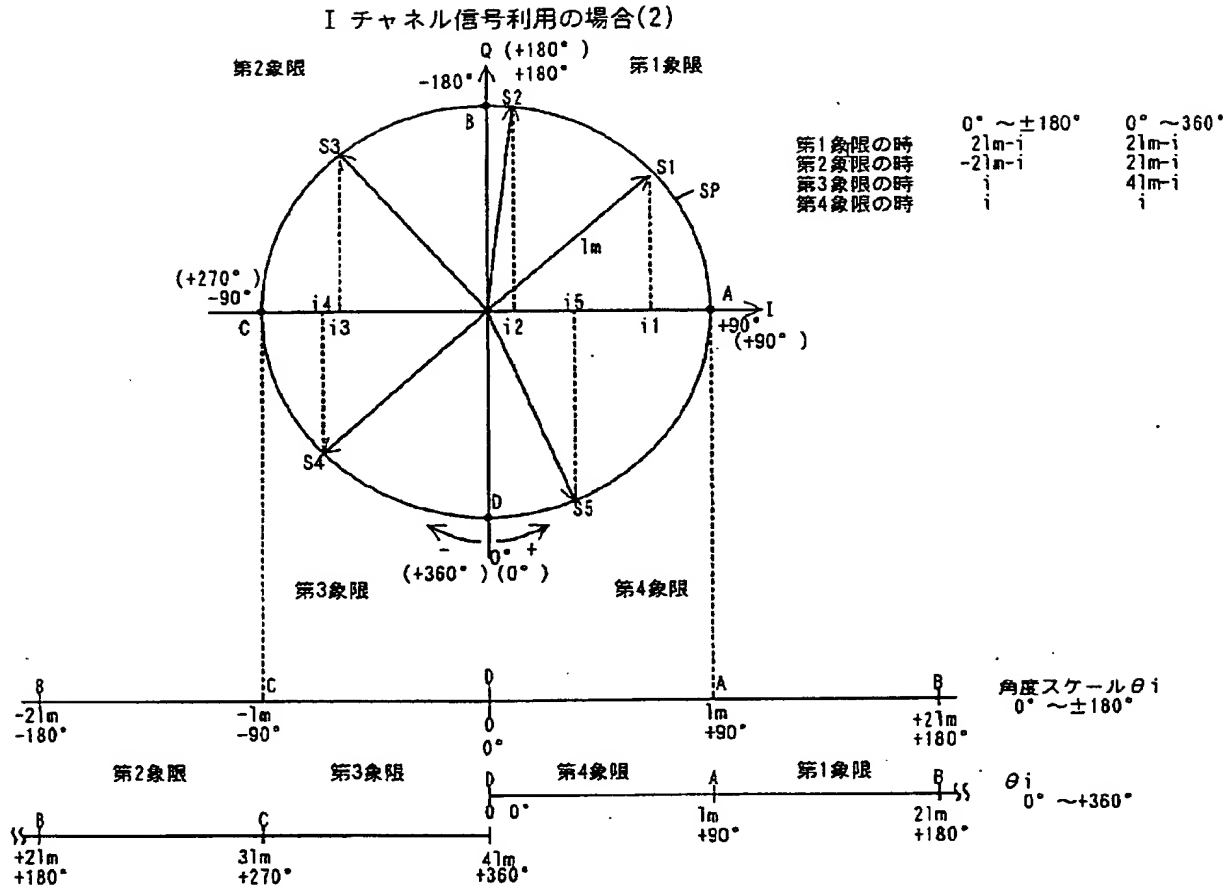
-180° ~ 0° ~ +180°

	B-C-D-A-B -180°-0°→+180°	C-D-A-B-C -180°-0°→+180°	D-A-B-C-D -180°-0°→+180°	A-B-C-D-A -180°-0°→+180°
第1象限	2Im-i	Im-i	-i	-(Im+i)
第2象限	-2Im-i	Im-i	-i	-(Im+i)
第3象限	I	-(Im-i)	2Im+i	Im+i
第4象限	I	-(Im-i)	-2Im+i	Im+i

0° ~ 360°

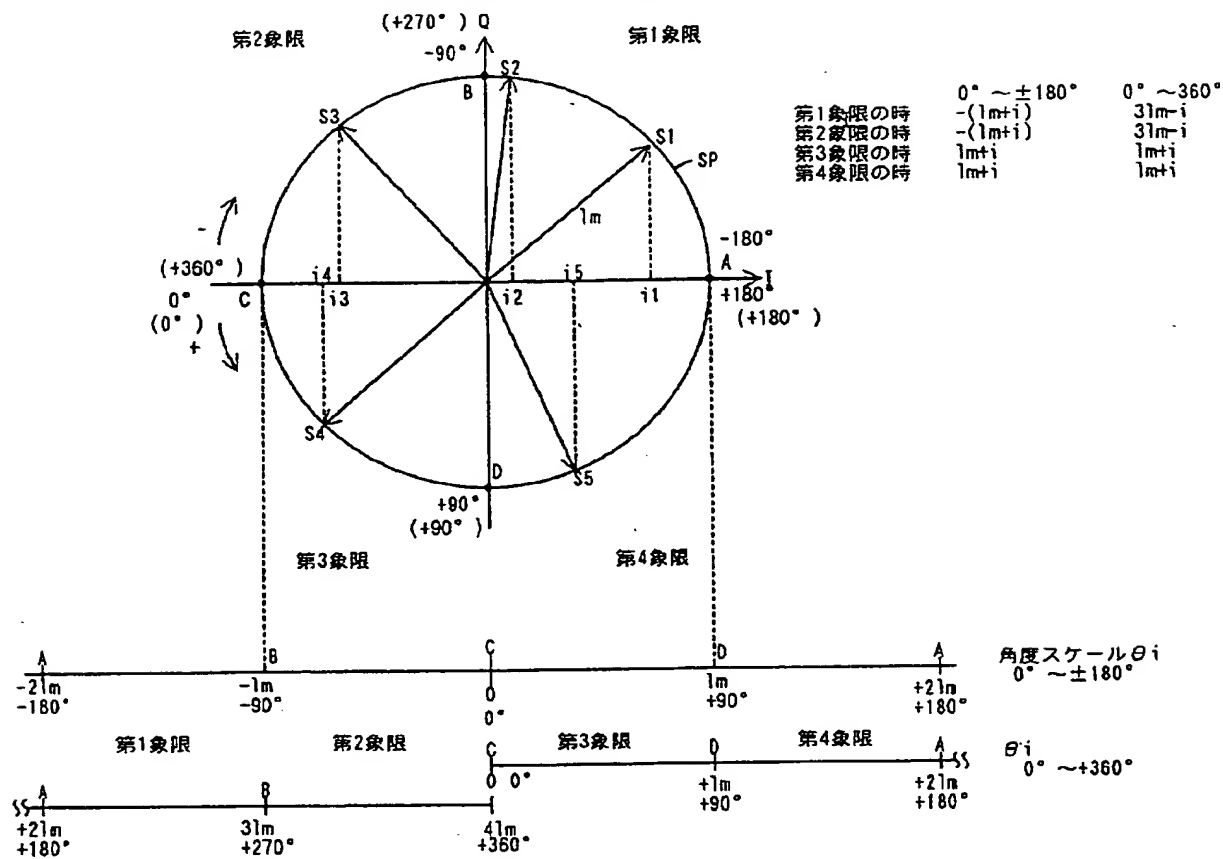
	D-A-B-C 0°→+360°	A-B-C-D 0°→+360°	B-C-D-A 0°→+360°	C-D-A-B 0°→+360°
第1象限	2Im-i	Im-i	4Im-i	3Im-i
第2象限	2Im-i	Im-i	-i	3Im-i
第3象限	4Im+i	3Im+i	2Im+i	Im+i
第4象限	I	3Im+i	2Im+i	Im+i

【図7】

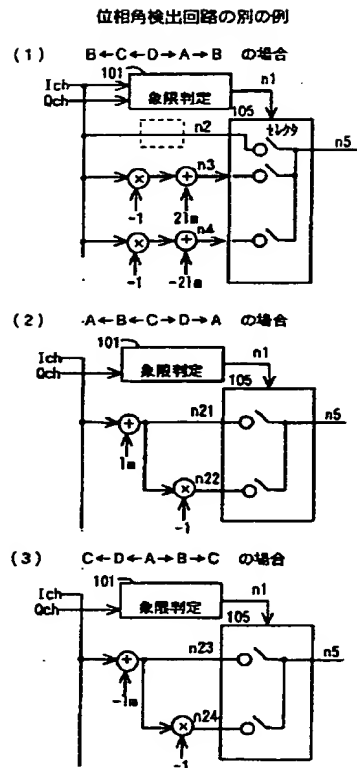


【図 8】

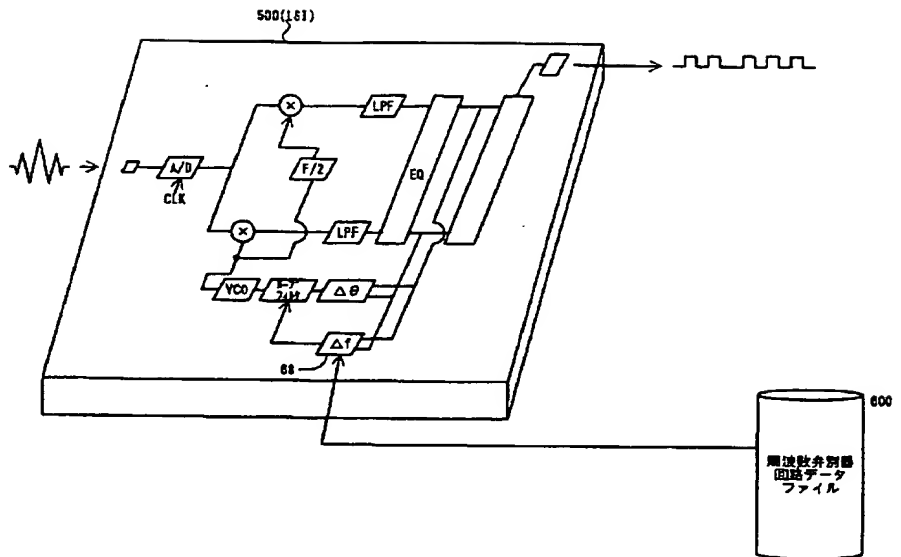
I チャネル信号利用の場合(3)



【図 10】

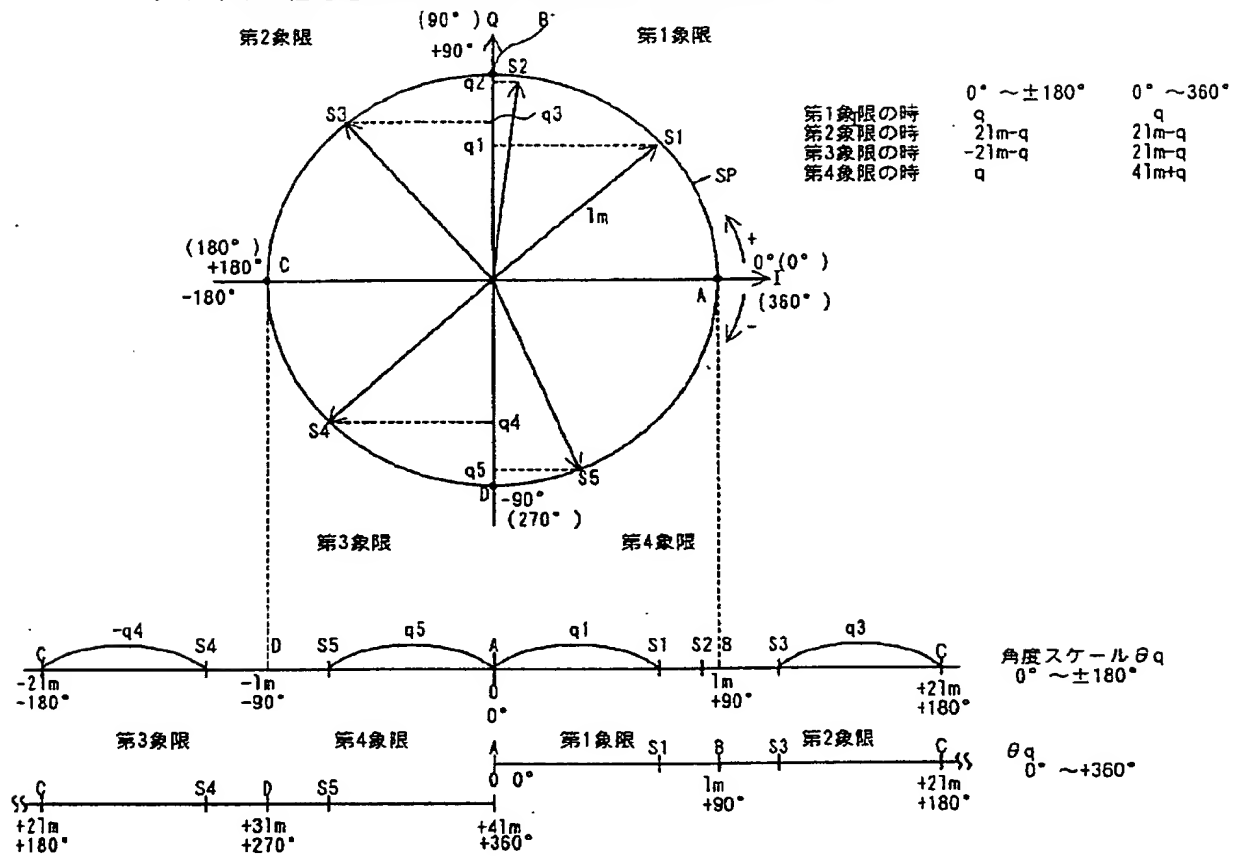


【図 16】



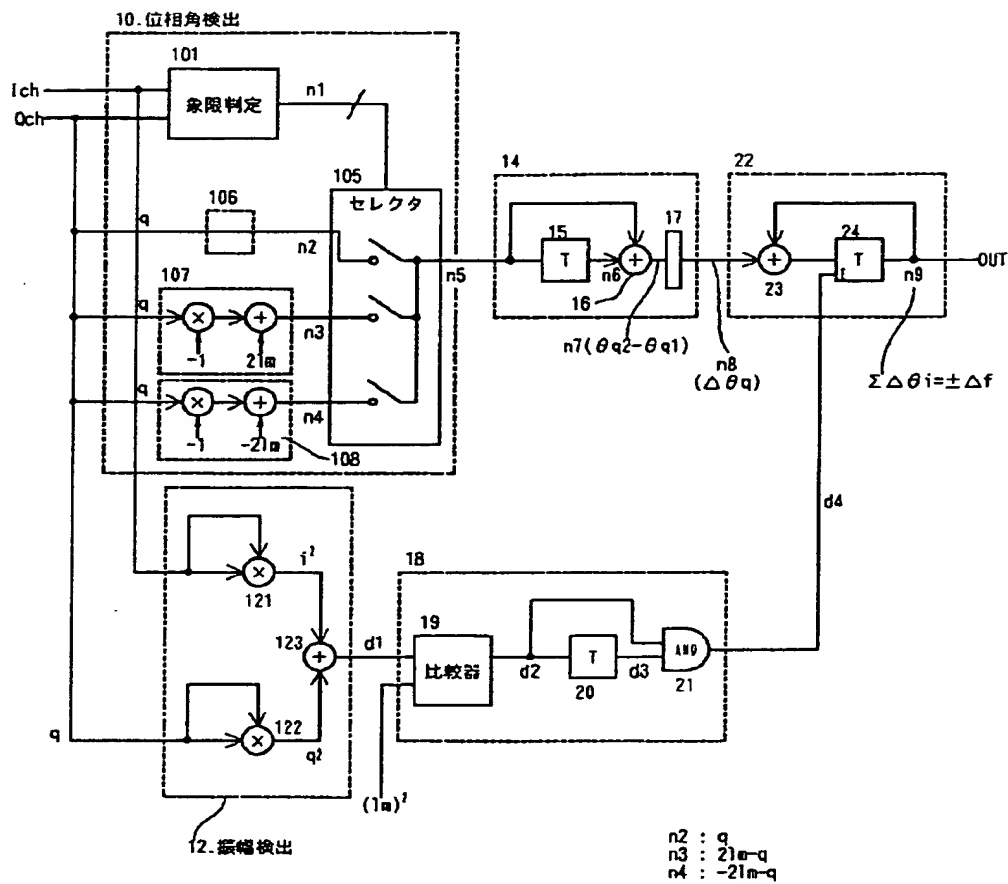
【図 1 1】

Q チャンネル信号を利用した場合の角度検出の原理を示す図



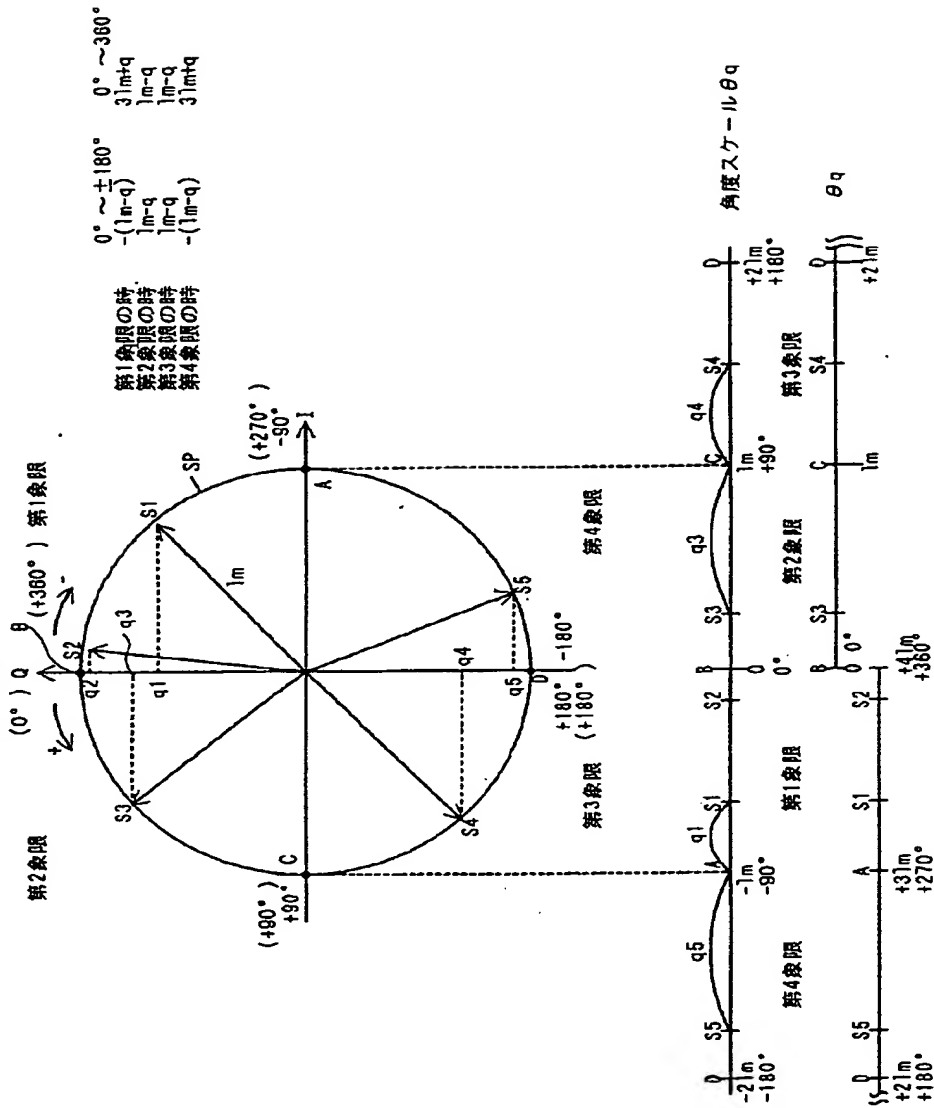
【図 12】

第 2 の実施の形態例の周波数弁別器の回路図



【図 13】

Q チャネル信号を利用した場合の角度検出の原理を示す図



【図 1 4】

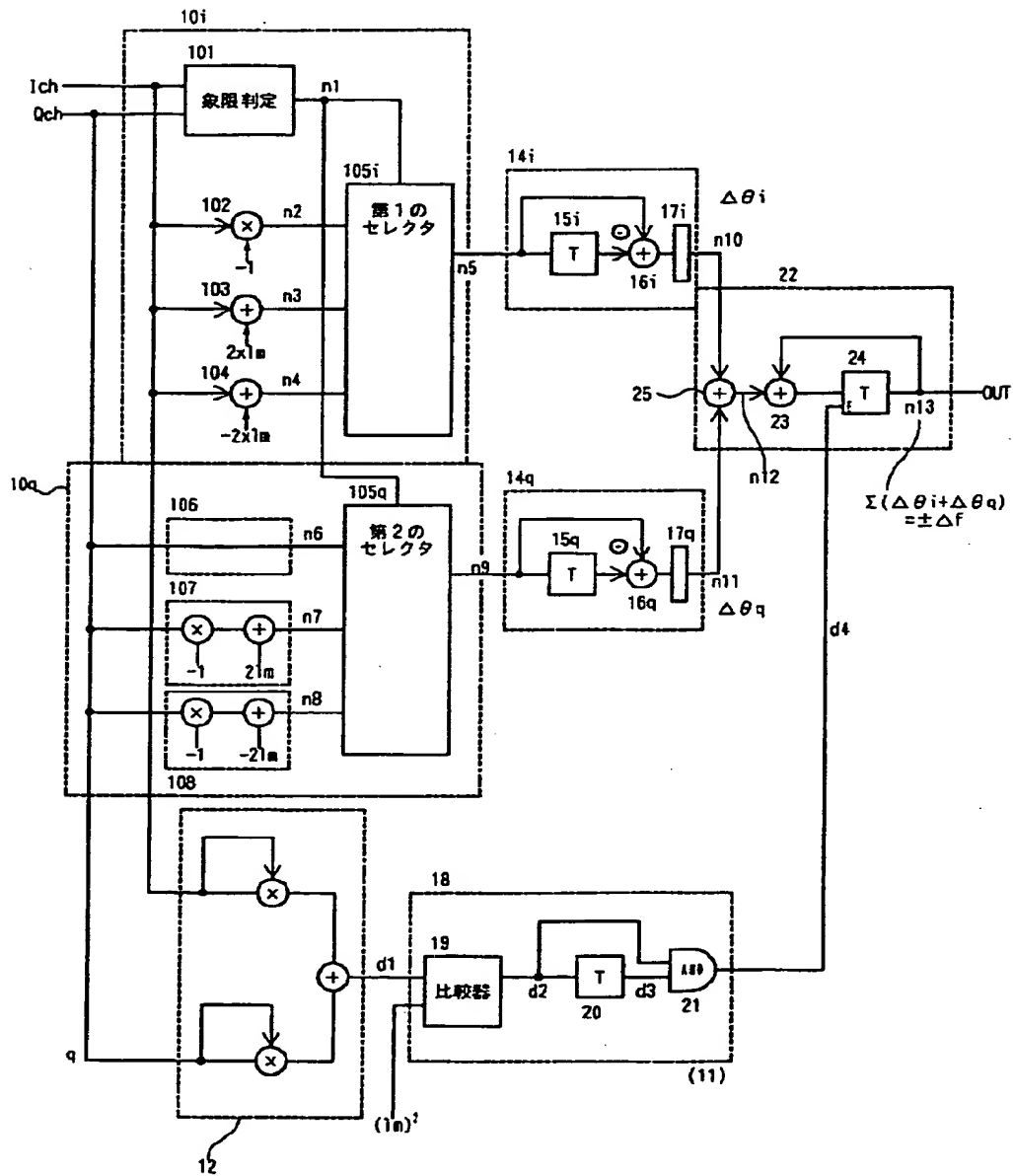
Qチャネル信号利用の場合の変換式

	$C \leftarrow D \leftarrow A \rightarrow B \rightarrow C$ $-180^\circ \leftarrow 0^\circ \rightarrow +180^\circ$	$D \leftarrow A \leftarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ $-180^\circ \leftarrow 0^\circ \rightarrow +180^\circ$	$A \leftarrow B \leftarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ $-180^\circ \leftarrow 0^\circ \rightarrow +180^\circ$	$B \leftarrow C \leftarrow D \rightarrow A \rightarrow B$ $-180^\circ \leftarrow 0^\circ \rightarrow +180^\circ$
第1象限	q	$-(lm-q)$	$-2lm+q$	$lm+q$
第2象限	$2lm-q$	$lm-q$	$-q$	$-(lm+q)$
第3象限	$-2lm-q$	$lm-q$	$-q$	$-(lm+q)$
第4象限	q	$-(lm-q)$	$2lm+q$	$lm+q$

	$A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ $0^\circ \rightarrow +360^\circ$	$B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ $0^\circ \rightarrow +360^\circ$	$C \rightarrow D \rightarrow A \rightarrow B$ $0^\circ \rightarrow +360^\circ$	$D \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$ $0^\circ \rightarrow +360^\circ$
第1象限	q	$3lm+q$	$2lm+q$	$lm+q$
第2象限	$2lm-q$	$lm-q$	$4lm-q$	$3lm-q$
第3象限	$2lm-q$	$lm-q$	$-q$	$3lm-q$
第4象限	$4lm+q$	$3lm+q$	$2lm+q$	$lm+q$

【図 15】

第 3 の実施の形態例の周波数弁別器の回路図



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.